

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТПУСКА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 11Х9К3В2НМАФБР

Ткачев Е.С., Федорова И.Ф.

Руководитель - д.ф.-м.н. Кайбышев Р.О.

НИУ БелГУ, г. Белгород

Djo1992@mail.ru

В работе изучено влияние температуры отпуска на механические свойства мартенситной стали 11Х9В2НМАФБР, содержащей 9%Cr. Определены зависимости условного предела текучести, временного предела прочности, относительного удлинения, твердости, и ударной вязкости от температуры отпуска, что в дальнейшем позволит анализировать структурные изменения, происходящие в данной стали при отпуске.

Жаропрочные стали мартенситного класса в настоящее время являются объектом повышенного внимания. Стали такого типа применяют в качестве конструкционных материалов при строительстве тепловых электростанций нового поколения, работающих при суперсверхкритических параметрах пара [1-3]. В данной работе представлено исследование механических свойств мартенситной стали 11Х9В2НМАФБР, являющейся модификацией используемой для котлов, роторов и др. элементов тепловых электростанций в Японии стали Р92. В исследованной стали (Табл. 1) была занижена концентрация азота с целью предотвращения трансформации тонких карбонитридов типа МХ в Z-фазу, которая в свою очередь является причиной снижения сопротивления ползучести сталей мартенситного класса. Кроме того было увеличено содержание бора для стабилизации мартенситной структуры за счет снижения скорости коагуляции карбидов типа Cr₂₃C₆.

Экспериментальные образцы были подвергнуты термической обработке, а именно нормализации с температуры 1060°C и отпуску в интервале температур 350-780°C длительностью 3 часа. Механические испытания на растяжение были проведены на универсальной машине INSTRON 5882. Твёрдость по Бринеллю измерялась с помощью цифрового твёрдомера фирмы Wolpert 3000BLD. Испытания на ударную вязкость проводились на образцах размером 10×10×55 мм с использованием тестовой машины Instron IMP460.

Таблица 1. Химический состав стали 11Х9К3В2НМАФБР.

C	Si	Mn	Cr	W	Mo	Nb	V	Co	Ni	Cu	Ti	Al	N	B
0,1	0,12	0,4	9	1,5	0,57	0,05	0,2	2,8	0,24	0,027	0,002	0,01	0,007	0,012

На рис.1 показана зависимость условного предела текучести, $\sigma_{0,2}$, временного предела прочности, σ_b , относительного удлинения, $\delta(a)$ твердости

(б), ударной вязкости (в), от температуры отпуска, а так же диаграммы деформации, полученные при изотермических испытаниях на растяжение. Выявлено, что до температуры около 350°C значения твердости меняются незначительно и приблизительно соответствуют значению твердости стали после нормализации. В интервале температур 450°C – 500°C прочностные характеристики достигают наивысших значений. Увеличение температуры отпуска с 500°C до 700°C приводит к снижению значений твердости и прочности, и к увеличению пластичности. Твердость стали после отпуска при различных температурах превышает 230 НВ. Можно отметить, что такое значение твердости стали после отпуска соответствует общим требованиям, предъявляемым к теплотехническим сталям, используемым в качестве конструкционных материалов в энергетическом машиностроении. Величина относительного удлинения при испытаниях на растяжение при комнатной температуре достигает 18% при температуре отпуска 780°C.

Отпуск при температуре до 350°C существенно не влияет на ударную вязкость, которая составляет приблизительно 50 Дж/см². Значительный спад ударной вязкости соответствует 500°C, значение ударной вязкости при этой температуре отпуска составляет 8,5 Дж/см². С дальнейшим увеличением температуры отпуска значение ударной вязкости увеличивается и достигает 244 Дж/см² после отпуска при температуре 750°C.

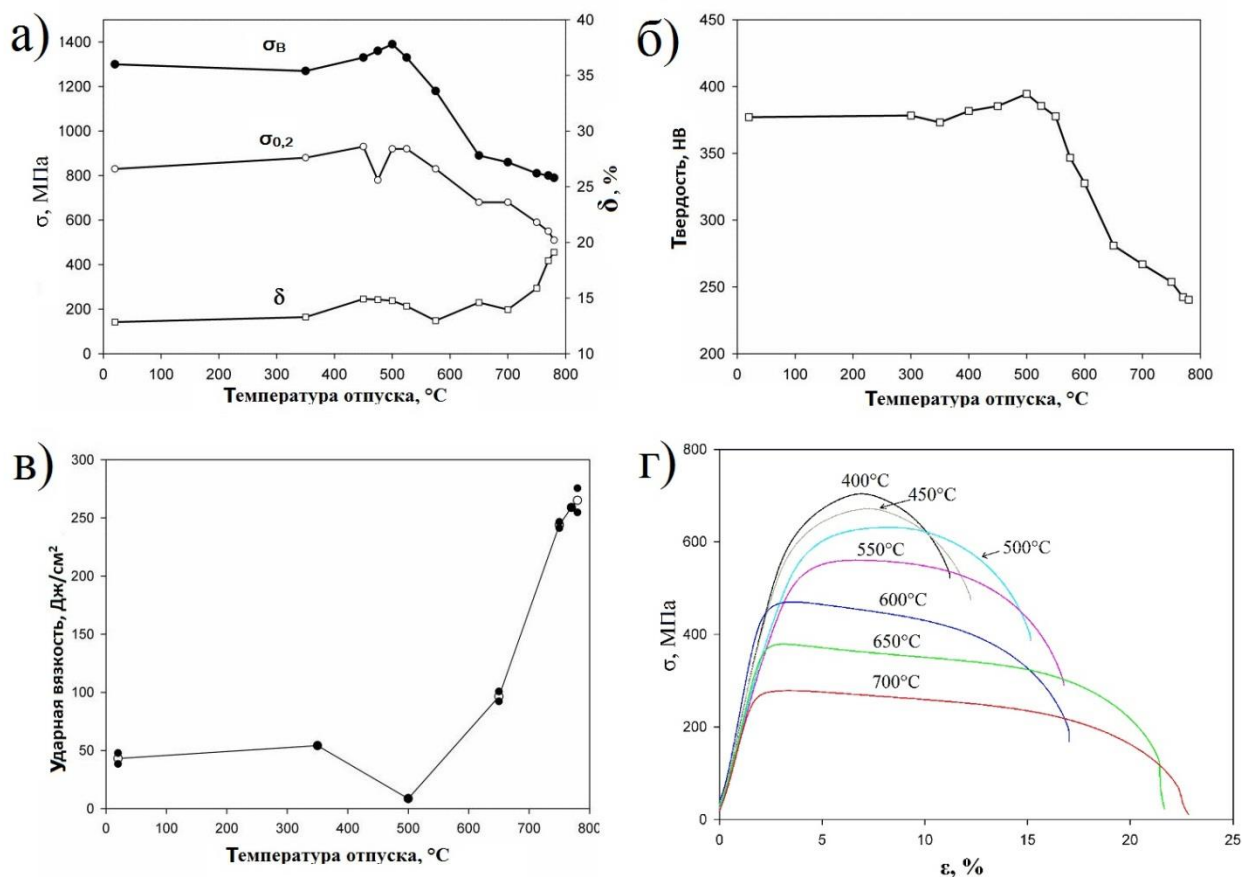


Рисунок 1. Зависимость механических характеристик (σ_b , $\sigma_{0,2}$, δ) (а), твердости (б), ударной вязкости (в) от температуры отпуска. Зависимость напряжения течения от степени деформации при различных температурах испытаний (г).

Из графика зависимости напряжения от степени деформации при изотермических испытаниях на растяжение (рис 1г) видно, что прочностные свойства стали падают с увеличением температуры испытания, в то время как ее пластичность увеличивается. Результаты оценки параметров прочности и пластичности после механических испытаний при повышенных температурах образцов стали после отпуска при 750С приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты испытаний на растяжение при различных температурах после ТО нормализация 1060°С + отпуск 750°С.

$T_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	400	450	500	550	600	650	700
$\sigma_{0,2}, \text{Мпа}$	485	430	375	370	360	345	250
$\sigma_b, \text{Мпа}$	660	630	590	530	455	370	270
$\delta, \%$	9,6	10,9	14,5	16,8	17,9	23,4	25,0

Полученные результаты будут использованы в дальнейшем для анализа структурных изменений в стали 11Х9К3В2НМАФБР в процессе отпуска.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

- 1 Р.О. Кайбышев, В.Н. Скоробогатых, И.А Щенкова "Новые стали мартенситного класса для тепловой энергетики. Жаропрочные свойства", ФММ, Т.109 (2010), С. 200-215
- 2 F. Abe, M. Taneike, K. Sawada "Alloy design of creep resistant 9Cr steel using a dispersion of nanosized carbonitrides", Int. J. of Pressure Vessels and Piping, Vol. 84 (2007), pp. 3-12
- 3 I. Fedorova, A. Kipelova, A. Belyakov, R. Kaibyshev "Microstructure evolution in an advanced 9pct Cr martensitic steel during creep at 650C", Metall. Mater. Trans. A, Vol. 44 (2012), pp. 128-135